



Regione Siciliana



ASSESSORATO REGIONALE DELLE ATTIVITA' PRODUTTIVE
DIPARTIMENTO REGIONALE DELLE ATTIVITA' PRODUTTIVE

MONSOON

(MONitoraggio SOttOmariNo per scopi ambientali ed energetici)

RAPPORTO TECNICO N.1

SISTEMA DI MONITORAGGIO ACUSTICO SOTTOMARINO

AUTORI

Zora Marco^(a), Alfonso Zaffuto^(b)

(a) IAMC-CNR U.O.S. di Capo Granitola (TP) - Italy

(b) DAIMAR s.r.l.

DICEMBRE 2015

Linea di intervento 4.1.1.1 del POR FESR Sicilia 2007-2013

C.U.P. G71I140000200007

SOMMARIO

AUTORI.....	0
INTRODUZIONE	1
GLI IDROFONI	2
MISURE TDOA - TIME DIFFERENCE OF ARRIVAL	4
DIGITALIZZATORE A CANALI SINCRONI	6
RAPPORTO SEGNALE RUMORE	6
SOVRACAMPIONAMENTO	7
SISTEMI LOW POWER	7
ELABORAZIONE E COMUNICAZIONE	9
CONCLUSIONI	11

INTRODUZIONE

Il progetto MONSOON ha come obiettivo lo sviluppo delle tecnologie di monitoraggio multi-parametrico sottomarino sia per scopi ambientali sia per la caratterizzazione di siti adatti allo sfruttamento energetico. Nel presente report, viene descritto uno studio sulle tecnologie necessarie per realizzare un moderno sistema di monitoraggio acustico in grado di essere alimentato a batteria.

La realizzazione di uno strumento completo per l'acquisizione di segnali acustici sottomarini, richiede una progettazione molto attenta dei vari sottosistemi. Dal punto di vista commerciale, ad oggi, non sono disponibili molte soluzioni chiavi in mano e in genere si è costretti a progettare da zero una o più parti del sistema. La soluzione tecnica oggetto del presente studio, dovrebbe poter essere utilizzata anche in sistemi autonomi sottomarini alimentati a batteria, e si è cercato di limitare al massimo i consumi energetici in modo da garantire una elevata durata di funzionamento. Le dimensioni fisiche del sistema risultante, sono molto ridotte e offrono grandi vantaggi in termini di peso e costi di gestione, perché i vessel di contenimento devono essere progettati su misura e in funzione della profondità di utilizzo possono avere spessori anche di diversi centimetri. Trattandosi di strumentazione scientifica da utilizzare in ambienti ostili, l'affidabilità deve essere garantita ai massimi livelli, altrimenti si rischierebbe facilmente di perdere i dati e rendere inutile tutta la campagna di misura.

Lo studio è stato affrontato partendo dalle caratteristiche dei sensori che si intendono utilizzare; gli idrofoni. Viene mostrata la circuiteria elettronica di front-end necessaria per interfacciare questo tipo di sensori ad alta impedenza ai comuni convertitori ADC che mostrano una impedenza di ingresso relativamente bassa. Vengono poi descritte le diverse tipologie di idrofoni: differenziali, attivi, passivi e digitali. Nel capitolo successivo, viene introdotta la tecnica TDOA utile per sfruttare un sistema multi idrofono per identificare in modo passivo, la direzione della sorgente sonora. Da questa descrizione si deduce che l'acquisizione dei segnali acustici deve essere eseguita in modo **sincrono** su tutti i canali. Molti dei sistemi di acquisizione dati disponibili in commercio, acquisiscono i dati in modo asincrono mediante opportuni multiplexer. Questo introduce un ritardo temporale tra i diversi canali e un conseguente errore nella valutazione della direzione di arrivo.

Vengono poi descritti i circuiti commerciali per la preamplificazione dei segnali elettrici generati dagli idrofoni, il concetto di rapporto segnale/rumore per valutare la qualità di un digitalizzatore e la tecnica del sovracampionamento, utile per migliorare la qualità dei dati. Il capitolo seguente viene dedicato alle batterie e si dà una misura quantitativa di ciò che oggi viene definito, in questo campo di applicazione, un sistema low power. Alcuni registratori acustici presenti nel mercato vengono valutati e mostrate alcune delle principali caratteristiche tecniche. Dopo aver concluso la carrellata sui sistemi di acquisizione, viene data una panoramica sui computer embedded per l'elaborazione, la comunicazione e lo storage dei dati adatti al prototipo in oggetto.

Il risultato del nostro studio è che i sistemi commerciali non hanno tutte le caratteristiche necessarie e non rispondono alle richieste di un ricercatore che vuole scrivere le proprie applicazioni specifiche. Le aziende produttrici, sono molto chiuse nel dare informazioni approfondite di carattere tecnico sia sull'hardware che sul software. Questo documento si conclude con la proposta di un prototipo che soddisfa tutte le richieste di un utilizzo scientifico in ambiente marino che sia flessibile e semplice da utilizzare basato su un digitalizzatore di segnali acustici sviluppato appositamente per lo scopo.

GLI IDROFONI

Un idrofono è uno strumento che permette di rivelare le onde acustiche in un liquido attraverso un fenomeno fisico misurabile, indotto dalle onde nel mezzo di rivelazione. Gli idrofoni commerciali utilizzano per la rivelazione sensori piezo-elettrici che permettono di trasformare la pressione esercitata dall'onda acustica in segnale elettrico. Esistono idrofoni basati su vari principi di funzionamento e con differenti sensibilità. Recentemente sono stati sviluppati idrofoni con un'elevatissima sensibilità, che sfruttano la proprietà di un laser con cavità FBG (Fiber Bragg Grating) per modificare la lunghezza d'onda emessa quando la cavità ottica viene modificata da una perturbazione esterna (per esempio da un'onda acustica). Gli idrofoni attuali più sensibili sono capaci di misurare suoni d'intensità molto più piccola di quelli emessi dai cetacei.

Gli idrofoni che usano i laser non sono adatti ad applicazioni marine in quanto molto delicati e dai consumi energetici elevati.

Gli idrofoni piezo-elettrici in commercio costano qualche migliaio di euro ma è possibile costruirli a partire da un dischetto di materiale piezoelettrico e da un moulding adeguato. Gli idrofoni autocostruiti tuttavia devono essere attentamente calibrati prima di essere utilizzati e tale procedura non è sempre facile da eseguire.

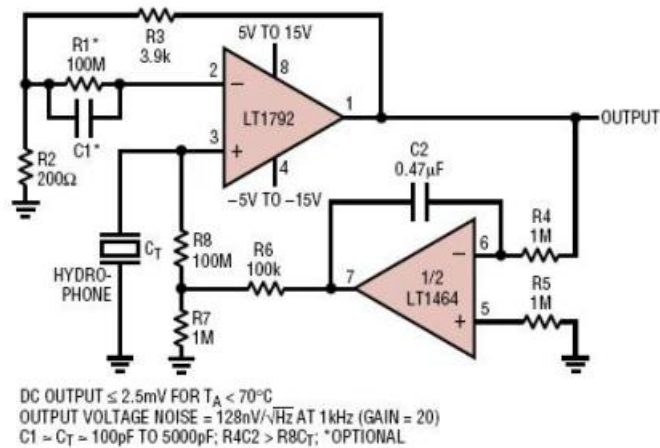


FIGURA 1: TIPICO CIRCUITO DI PREAMPLIFICAZIONE PER IDROFONO

Dal punto di vista elettrico, gli idrofoni hanno un'alta impedenza e generano segnali elettrici molto deboli. Il circuito di Front-End deve quindi avere una elevata impedenza di ingresso (generalmente maggiore di 1 Mega Ohm) e una ridottissima corrente inversa. Tali segnali elettrici devono essere amplificati di un fattore 300 circa per entrare nel range 0-5V tipico dei convertitori Analogico Digitali.

Una impedenza di ingresso elevata, può causare problemi di offset che portano l'uscita del pre-amplificatore alla saturazione. Per questo motivo, viene in genere integrato un circuito di feed-back per l'eliminazione dell'offset.



FIGURA 2: IDROFONO TELEDYNE RESON TC4042

Alcuni idrofoni analogici sono di tipo **attivo** e cioè includono al loro interno un circuito di preamplificazione che ne migliora le performance semplificando l'interfacciamento con il convertitore ADC.

Gli idrofoni analogici attivi devono essere alimentati, e in genere richiedono una tensione elettrica bipolare ($\pm 5\text{V}$, $\pm 10\text{V}$...). Gli idrofoni analogici che garantiscono il rapporto segnale/rumore (SNR) maggiore, sono di tipo **differenziale**. In questo tipo di idrofoni, il segnale elettrico è rappresentato dalla differenza di potenziale tra due poli diversi dalla massa. In questo modo un eventuale disturbo presente nel cavo di collegamento si presenterebbe, in modo uguale, su entrambi i poli di collegamento e verrebbe eliminato dall'operazione di differenza. Tali idrofoni richiedono un ingresso differenziale anche dal lato ADC.

L'ultima generazione di idrofoni è quella totalmente **digitale**. Gli idrofoni digitali, al loro interno hanno sia i circuiti di preamplificazione (differenziali o single-ended) che i circuiti di conversione Analogico/Digitale. L'interfaccia avviene in modo digitale con protocolli seriali tipo S/PDIF, I2S, AES-EBU, ETHERNET UDP etc... L'approccio totalmente digitale ha

il vantaggio di ridurre al massimo il rumore introdotto in genere dai cavi di collegamento sui segnali analogici e permette di posizionare gli idrofoni a distanze maggiori dal sistema di acquisizione, mantenendo costante il rapporto segnale/rumore.

Quando viene richiesta una acquisizione sincrona multicanale, gli idrofoni digitali devono essere sincronizzati tra loro con notevole precisione, e questa a volte potrebbe essere una procedura difficile da eseguire. Per questo motivo, nei sistemi multicanale sincroni, in genere si preferisce usare più idrofoni analogici collegati ad uno stesso convertitore multicanale.

TECHNICAL DATA

Model		DH100	DH200GP (DH200HS Note 1)	DH600	DH800 (Note 2)
Sensitivity of low gain channel @ 10 kHz	dB re 1V/ μ Pa	- 186	- 186	- 186	- 196
Sensitivity of high gain channel @ 10 kHz	dB re 1V/ μ Pa	- 148	- 148	- 148	- 158
Frequency range	Hz	20 to 48000	10 to 90000	10 to 90000	4 to 90000
Sampling Frequency	kHz	96	100/200	100/200	50/100/200
Beam pattern	*	OMNIDIRECTIONAL			
Equivalent input noise (high gain ch @ 10 kHz)	dB re 1 μ Pa/ \sqrt Hz	+ 35	+ 24	+ 37	+ 20
Maximum driven cable length	m	200	100	100	300
Power consumption	mW	700	800	150	850
Length	mm	180	180	180	250
Diameter	mm	30	30	35	40
Standard output connection		cable	cable	cable	underwater connector
Maximum depth	m	700	1000	4000	1000
Depth sensor range	m	-	-	-	300

FIGURA 3: CARATTERISTICHE PRINCIPALI DI ALCUNI IDROFONI DIGITALI COMMERCIALIZZATI DALLA

SMID TECHNOLOGY (WWW.SMIDTECHNOLOGY.IT)

Nei sistemi low power multi idrofono, la soluzione con idrofoni preamplificati o digitali può richiedere un maggior consumo energetico oltre che a maggiori costi di realizzazione. La soluzione migliore in questi casi è quella di utilizzare idrofoni passivi (non alimentati) e front-end a basso consumo e basso rumore integrati del digitalizzatore. Purtroppo nel mercato non sono molte le aziende che propongono una soluzione così specializzata.

MISURE TDOA - TIME DIFFERENCE OF ARRIVAL

Per identificare la direzione della sorgente sonora si usa la tecnica di ricostruzione spaziale basata sulla differenza dei tempi di arrivo. Noti i tempi di arrivo dell'onda acustica sui quattro idrofoni (quindi i rispettivi tempi di ritardo), e nota la posizione spaziale degli idrofoni della stazione, è possibile risalire alla "direzione" della sorgente (la posizione esatta non può essere determinata con precisione). La posizione potrebbe essere ricavata dall'intersezione di due o più rette direzionali ricavate da stazioni di acquisizione poste in punti spaziali differenti.

Le onde sonore in acqua sono onde di pressione e si propagano longitudinalmente. La velocità del suono in acqua è di circa 1500 m/s quindi in 1 ms l'onda ha percorso circa 1.5 metri. Posizionando due idrofoni a 1.5 metri di distanza l'uno dall'altro, in 1 ms dovremmo acquisire almeno un centinaio di punti per poter ricostruire l'onda sonora in modo adeguato e valutare la differenza dei tempi di arrivo. La frequenza di acquisizione minima per questo tipo di applicazione deve essere quindi circa 100 kSPS. Un'altra fondamentale caratteristica del sistema di acquisizione è che questa deve avvenire in modo "sincrono" tra i diversi canali. Bisogna minimizzare l'errore tra i tempi di acquisizione per i diversi canali in modo da valutare nel migliore dei modi i ritardi. Per ricostruire la direzione della sorgente sonora occorrono almeno 4 idrofoni, quindi il sistema di acquisizione deve avere almeno 4 canali sincroni.

Il modo più semplice per elaborare i dati è quello di eseguire l'elaborazione off-line e cioè in un secondo momento su una macchina hardware dalle prestazioni superiori. I dati possono essere quindi salvati in modo grezzo riducendo i requisiti hardware del digitalizzatore e i consumi energetici dell'intero sistema.

Dal punto di vista matematico, la differenza dei tempi di arrivo si calcola eseguendo una cross-correlazione tra due segnali acustici di due canali distinti. Supponiamo che $x_1(t)$ sia il segnale acquisito dal canale 1 e che $x_2(t)$ quello del canale 2. La cross-correlazione è definita da:

$$\Gamma(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x_1(t - \tau)x_2(t)dt$$

che concettualmente sposta la funzione $x_1(t)$ della distanza temporale τ mentre mantiene fissata la posizione $x_2(t)$ e calcola il prodotto delle due funzioni. Quando le due funzioni sono perfettamente sovrapposte il prodotto è massimo. Il massimo della funzione di cross-correlazione $\Gamma(\tau)$ si troverà per un τ_0 che indica proprio la differenza del tempo di arrivo (TDOA).

Posizionando quindi due idrofoni in due punti spaziali diversi, il suono emesso da una sorgente puntiforme darà origine ad un ben determinato TDOA. Il tempo è proporzionale alla distanza della sorgente sonora dagli idrofoni, quindi la differenza dei tempi di arrivo sarà proporzionale alla differenza delle distanze della sorgente dai due idrofoni. In geometria euclidea, si definisce iperbole, l'insieme dei punti del piano tali per cui è costante la differenza delle distanze da due punti fissi detti fuochi. Quindi un determinato TDOA definisce univocamente una iperbole sul piano contenente i due idrofoni come fuochi. Con quattro idrofoni si possono definire due iperbole e la sorgente si troverà nell'intersezione di queste due. Per ottenere univocamente la posizione della sorgente occorre utilizzare più idrofoni disposti opportunamente nello spazio. Diverse configurazioni spaziali, daranno luogo a diverse caratteristiche del sistema di misura.

Per localizzare una sorgente acustica con il metodo della TDOA, occorre quindi un digitalizzatore con almeno quattro canali di acquisizione sincroni (è comunque preferibile disporre di un maggior numero di canali a condizione che questi siano tutti sincroni). Parte dell'elaborazione può essere implementata nei dispositivi FPGA o DSP se questi sono presenti nel digitalizzatore.

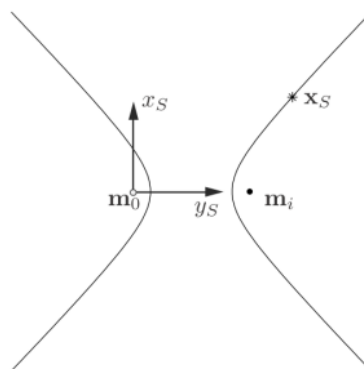


FIGURA 4 : IPERBOLE DESCRITTA DA UNA MISURA TDOA. I PUNTI m_0 E m_i SONO I FUOCHI E COINCIDONO CON LE POSIZIONI SPAZIALI DEI DUE IDROFONI. LA SORGENTE ACUSTICA È RAPPRESENTATA DA UN ASTERISCO CHE GIACE SUI PUNTI DELLA IPERBOLE.

DIGITALIZZATORE A CANALI SINCRONI

Il ruolo del digitalizzatore è quello di portare i valori analogici di tensione e/o corrente nel dominio digitale. La qualità dei dati dipende in genere dalla qualità del digitalizzatore. Un convertitore ADC presenta in ingresso una impedenza generalmente bassa (dell'ordine dei kOhm) e accetta segnali elettrici a bassa impedenza. Per quanto riguarda gli idrofoni, essendo questi trasduttori ad alta impedenza, in genere si richiede uno stadio di adattamento tra l'idrofono e il convertitore Analogico Digitale.



FIGURA 5: PREAMPLIFICATORI COMMERCIALI PER IDROFONI

I preamplificatori richiedono una alimentazione separata che in genere viene fornita da una apposita batteria. Il costo di un preamplificatore per idrofoni in genere si aggira intorno al migliaio di euro. Per realizzare un sistema a quattro canali bisogna acquistare quattro preamplificatori separati e considerare oltre ai costi elevati, gli ingombri dei cavi per i segnali e per le alimentazioni. Ingombri significa anche realizzare contenitori di dimensioni maggiori, pesi maggiori e maggiori probabilità che qualcosa possa presentare malfunzionamenti. E' consigliabile quindi utilizzare schede elettroniche multicanale che abbiano tutti i preamplificatori integrati insieme al convertitore ADC. Ridurre la distanza fisica tra il preamplificatore e il convertitore è importante per ridurre le interferenze elettromagnetiche che possono essere raccolte dai cavi o dalle piste di interconnessione. Tali cavi devono comunque essere ben schermati e collegati alla massa del sistema di acquisizione.

RAPPORTO SEGNALE RUMORE

Una misura di prestazione del digitalizzatore (o tecnicamente quantizzatore) è data dal rapporto segnale-rumore di quantizzazione SQNR (Signal Quantization to Noise Ratio), misurato in decibel (dB):

$$\text{SQNR} = 10 \log_{10} \frac{\sigma^2}{\sigma_e^2} \text{dB}$$

Si può dimostrare che per un digitalizzatore a m bit, se A è il range massimo del segnale analogico da campionare, si avrà:

$$\text{SQNR} = 20 \log_{10} \frac{A}{A/2^m} + 1.76 \text{dB}$$

$$\text{SQNR} \simeq 6.02 \cdot m + 1.76 \text{dB}$$

Quindi per ogni bit in più del convertitore A/D, si ha un incremento di 6.02 dB nel rapporto segnale/rumore.

SOVRACAMPIONAMENTO

Il teorema del campionamento garantisce la possibilità di ricostruire un segnale con una banda limitata da f_{\max} , se questo viene campionato a frequenze maggiori o uguali alla cosiddetta **frequenza di Nyquist**, che è uguale a $2f_{\max}$.

Sovracampionare significa operare un campionamento ad una frequenza F_s molto superiore alla frequenza di Nyquist. I vantaggi derivanti dal sovracampionamento sono:

- possibilità di utilizzo di filtri anti-aliasing con prestazioni non troppo elevate
- L'aumento della frequenza di campionamento si può tradurre in un miglioramento del SQNR del convertitore

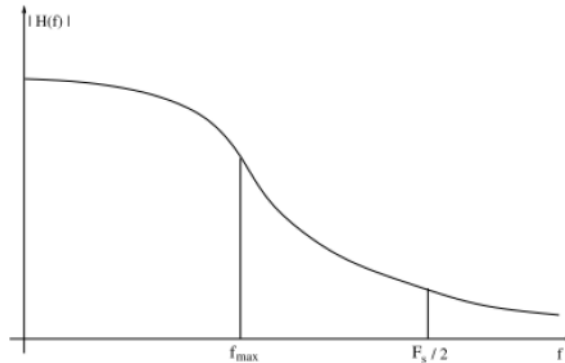


FIGURA 6: UN AUMENTO NELLA FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO MIGLIORA L'ATTENUAZIONE DEL FILTRO

Si può dimostrare che

$$\text{SQNR} = 10 \log_{10} \frac{\sigma^2}{\sigma_e^2} \frac{F_s}{2f_{\max}} \text{dB}$$

$$\text{SQNR} \simeq 6.02 \cdot m + 1.76 + 10 \log_{10} \frac{F_s}{2f_{\max}} \text{dB}$$

Quindi raddoppiare la frequenza di campionamento porta un miglioramento di circa 3 dB nel rapporto segnale-rumore.

SISTEMI LOW POWER

Nelle applicazioni marine, tutta l'elettronica deve consumare il minimo di energia possibile. I sistemi dovrebbero funzionare sia con alimentazione elettrica esterna che in modalità autonoma. In quest'ultimo caso, le dimensioni delle batterie potrebbero essere un limite.

Le batterie commerciali più adatte nelle applicazioni marine sono quelle di tipo Li-Ion o Li-Pol appositamente progettate. La densità energetica molto elevata di queste batterie, consente di avere tipicamente 800mAh a 3.7V con soli 15 grammi di peso.



FIGURA 7: BATTERIE AI POLIMERI DI LITIO (LIPOL - WWW.LIPOLBATTERY.IT)

Le batterie agli ioni di litio (così come altre batterie simili) richiedono una elettronica di controllo per gestire la carica e la scarica elettrica senza danneggiare le singole celle; tale elettronica è detta Battery Management Systems (BMS). Spesso i siti di interesse scientifico nella ricerca oceanografica si trovano in luoghi remoti e difficilmente accessibili e ciò pone particolari problemi per quanto riguarda l'approvvigionamento di energia elettrica. Non c'è una soluzione unica al problema e le soluzioni adottate dipendono dal tipo di missione. Nella tabella seguente vengono riportate alcune delle caratteristiche principali delle batterie agli ioni di Litio:

LiNiCoAlO ₂ (NCA) cylindrical cells	LiFePO ₄ (SLFP) cylindrical cells	LiNiMnCoO ₂ (NMC) prismatic cells
For long life, high value applications	For safety sensitive applications such as navy and motive power	For volume sensitive applications
Advantages: Best power among all cathode materials, high capacity, great stability in calendar and cycle life	Advantages: Better safety, good power, excellent cycle life with very stable impedance, good calendar life	Advantages: Good power and energy, less total heat generation during abuse, suitable for prismatic and cylindrical cells
Applications: Defense, space, energy storage/grid	Applications: Naval, motive power, and defense	Applications: Vehicles, motive power

FIGURA 8: TABELLA ESTRATTA DAL SITO DELLA SAFT: LITHIUM-ION ENERGY STORAGE SYSTEMS FOR LARGE DEFENSE APPLICATIONS.

Si possono avere applicazioni dove la stazione di fondo mare è stand-alone o configurazioni che prevedono il collegamento tra la stazione di fondo mare ed una boa in superficie con un cavo. In ogni caso il sistema nel suo insieme dovrà essere progettato in modo da consumare il meno possibile e pertanto la scelta dei singoli componenti che costituiscono il sistema e la "filosofia" stessa di progettazione ed utilizzo dello stesso dovrebbero puntare ad una ottimizzazione delle risorse. È altresì vero che spesso ciò pone un limite nella scelta della componentistica e/o nel modo di operare della stazione di rilevamento dati ed in considerazione anche dell'aspetto economico si è costretti a trovare il miglior trade-off tra tutti i vari elementi.

Un sistema che necessita di molta energia implica un dimensionamento della parte di alimentazione che si riflette su vari aspetti di una missione di ricerca. Per i sistemi stand-alone si traduce in un pacco batterie di maggiore capacità, maggior volume, e quindi maggior peso e costo. Inoltre un peso ed un ingombro elevato richiedono più unità di personale per la messa in posa ed imbarcazioni più grandi ed attrezzate con ulteriore aggravio dei costi. Le stesse considerazioni possono essere espresse anche per i sistemi costituiti da una stazione di fondo mare collegata ad una boa in superficie sulla quale sono montati i pannelli fotovoltaici e/o un generatore eolico e le batterie.

Specification	"Big Jim" 168/180 mm battery							
								
	Std				XL			
	14.4V		25.2V		46.8V		50.4V	
Type	Standard	XL	Standard	XL	Standard	XL	Standard	XL
Capacity	140Ah	280Ah	70Ah	140Ah	34Ah	70Ah	34Ah	70Ah
Energy	2020Wh	4040Wh	1769Wh	3538Wh	1582Wh	3285Wh	1704Wh	3538Wh
300m	Std.: Ø 168 mm x 372mm length. XL: Ø 168 mm x 638mm length.				Weight: 17kg in air, 9kg in sea water Weight: 29kg in air, 5kg in sea water			
2000m	Std.: Ø 180 mm x 390mm length. XL: Ø 180 mm x 630mm length.				Weight: 24kg in air, 14kg in sea water Weight: 38kg in air, 22kg in sea water			
4000m	Std.: Ø 180 mm x 390mm length. XL: Ø 180 mm x 630mm length.				Weight: 25kg in air, 15kg in sea water Weight: 41kg in air, 25kg in sea water			
6000m	Std.: Ø 180 mm x 390mm length. XL: Ø 180 mm x 630mm length.				Weight: 25kg in air, 15kg in sea water Weight: 41kg in air, 25kg in sea water			
Notes: all housings are made of titanium grade 2, except the 6000m version is made of grade 5 The 14.4V XL type is 20mm longer. Optional BMS (data output) can require additional lengths.								

FIGURA 9: SPECIFICHE TECNICHE PER PACCHI BATTERIE AGLI IONI DI LITIO PER APPLICAZIONI MARINE DELLA SUBCTECH GMBH (INFO@SUBCTECH.COM).

Generalmente i sistemi hardware per applicazioni marine hanno un sistema operativo e una serie di software proprietari che non permettono la flessibilità richiesta da molte applicazioni di ricerca. Nel grafico di figura 10, vengono riportati i consumi energetici di un sistema hardware progettato per avere consumi energetici estremamente bassi: (FONTE: Manuel Caldas-Morgan et al. Published on PLOS 15 June 2015)

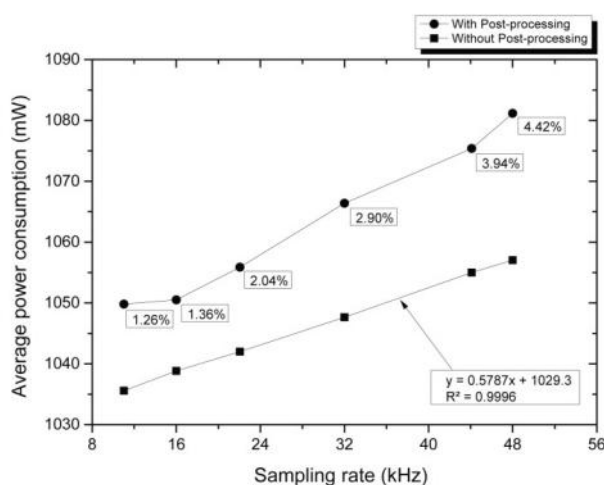


FIGURA 10: CONSUMI ENERGETICI TIPICI DI UN SISTEMA AUTONOMO BASATO SU SINGLE-BOARD-COMPUTER

ELABORAZIONE E COMUNICAZIONE

L'elaborazione dei dati acustici può richiedere una notevole capacità di calcolo specialmente in virgola mobile. Questa richiesta non sempre può essere soddisfatta da processori hardware con risorse limitate, ed è per questo che è preferibile appoggiarsi a processori con sistema operativo. Le elaborazioni potrebbero consistere in trasformate di Fourier veloci, filtraggio digitale, Integrali di cross-correlazione e compressione dati. Alcune di queste elaborazioni potrebbero essere affidate a specifici DSP (Digital Signal Processor) o FPGA, ed è per questo che sarebbero preferibili sistemi di acquisizione con DSP o FPGA integrato.

Una volta elaborati i dati acustici, bisogna inviarli al mondo esterno. Il protocollo di comunicazione più adatto a questo scopo, dovrebbe essere basato su uno standard internet in modo da rendere il sistema il più flessibile possibile. Il protocollo UDP (User Data Protocol) è uno dei protocolli di rete a basso livello che permette, alle applicazioni di un PC, di scambiare messaggi definiti "datagrammi" con altri PC su una rete internet. Tale protocollo non include il controllo degli errori, diminuendo il carico di elaborazione sulle CPU e incrementando così la velocità di scambio dati. Questo protocollo viene utilizzato quando si ha una connessione diretta tra i dispositivi e non si può avere una perdita di pacchetti. Per trasferire i dati da un sistema all'altro in modo sicuro si usa invece il protocollo TCP/IP che include un complesso sistema di controllo e ricostruzione dei pacchetti dati.

Per il sistema oggetto del presente studio, si potrebbe optare per una unica piattaforma hardware di elaborazione e comunicazione dati basata su processore ARM e sistema operativo Linux. Questa soluzione, rende gran parte del software sviluppato per le diverse applicazioni, indipendente dalla piattaforma hardware e riutilizzabile nel futuro. Di seguito vengono riportate alcune schede elettroniche che potrebbero completare il sistema di acquisizione ed elaborazione dati. Alcune soluzioni non si basano su LINUX ma su framework alternativi come il .NET Microframework della Microsoft. Queste soluzioni hanno alcuni vantaggi come ad esempio tempi di Boot inferiori al secondo e consumi energetici molto ridotti. Dal punto di vista software invece, si perde la flessibilità di un sistema operativo completo e di tutte le applicazioni già sviluppate e scaricabili gratuitamente da internet. Le soluzioni più estreme sono quelle basate direttamente su processori semplici con ridottissime dotazioni in termini di periferiche.



FIGURA 11 : ATMEL SAM5D5 XPLAINED ULTRA



FIGURA 12: TEXAS INSTRUMENTS MSP-EXP432P401R

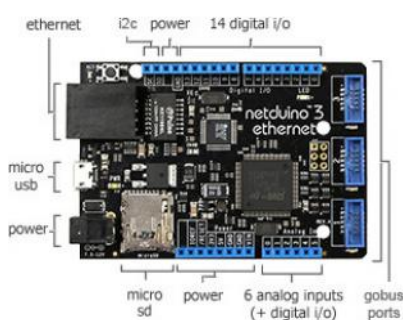


FIGURA 13: NETDUINO 3 ETHERNET - STM32F472VI

In questi casi, anche se possono essere raggiunti consumi estremamente ridotti, tutte le applicazioni vanno scritte a basso livello (C/C++) e si perde la portabilità di queste tra una piattaforma hardware e un'altra. Alcune schede compatibili con il digitalizzatore DAIMAR SAD828 sono ad esempio:

- SAM5D2 Xplained Ultra che è una piattaforma di valutazione veloce per i processori Atmel SMART SAM5D2 che supportano LINUX (www.atmel.com).
- Netduino 3 Ethernet basata sul processore STM32F427VI e sul .Net Microframework invece del convenzionale sistema operativo (www.netduino.com).

- MSP-EXP432P401R board della Texas Instruments, per applicazioni ultra low power che non richiedono una connessione di rete o una memoria di massa veloce (www.ti.com).

CONCLUSIONI

Lo studio condotto fino a questo punto, traccia a grandi linee le caratteristiche di un sistema hardware per l'acquisizione di dati acustici multi idrofono in ambiente marino per applicazioni scientifiche. Possiamo riassumerne di seguito le caratteristiche principali che questo sistema deve avere:

- Consumi energetici ridotti; preferibilmente sotto i 5W per il sistema completo
- Dimensioni fisiche ridotte; Meno di 50kg compreso le batterie
- Ridotto numero di connessioni elettriche; E' preferibile una scheda elettronica integrata invece che un insieme di schede interconnesse
- Elevato range dinamico (preferibilmente 24 bit) e frequenza di campionamento di almeno 100 kSPS
- Almeno quattro ingressi sincroni per idrofoni
- Hardware ben documentato
- Sistema operativo standard
- Software di facile implementazione
- Assistenza tecnica

Il mercato oggi non fornisce molte soluzioni chiavi in mano al problema oggetto del presente studio, ma richiede un assemblaggio di parti disponibili sul mercato, alcune delle quali sono state individuate e selezionate.

La soluzione migliore, che racchiude tutte le caratteristiche sopra elencate, ruota intorno al digitalizzatore **SAD828** progettato nel 2015 dal nostro Team di Sviluppo IAMC-CNR / DAIMAR come evoluzione del primo prototipo SAD821. Questo nuovo digitalizzatore è stato progettato appositamente per applicazioni marine per ottenere il massimo in termini di qualità dei dati, mantenendo bassi i consumi energetici. Gran parte della circuiteria digitale viene alimentata ad una tensione molto bassa (1.8V) mentre la parte analogica può essere alimentata sia a 5V che a 3V. La riduzione del livello delle tensioni di lavoro si traduce in un minore consumo energetico.

La scheda **SAD828** racchiude 8 front-end per idrofoni **passivi** e un convertitore ADC ad 8 canali differenziali sincroni. La frequenza massima di acquisizione è di 100kSPS per canale e la risoluzione è di 24 bit. Lo schema elettrico dei Front-End è una caratteristica esclusiva di questo digitalizzatore e permette anche, tramite la selezione di un micro-switch, di adattare le impedenze di sensori oceanografici analogici, con uscita in tensione o in corrente, all'impedenza di ingresso del convertitore ADC.

Il convertitore utilizzato è l'ADS1278 della Texas Instruments, con architettura delta-sigma, che combina una elevata precisione nella banda audio fino agli ultrasuoni (50kHz) con delle eccellenti specifiche per i segnali DC.

SVILUPPI FUTURI

Quando i test preliminari di laboratorio saranno conclusi, si procederà ad integrare il nuovo digitalizzatore SAD828 in un prototipo per iniziare i test e la caratterizzazione in ambiente marino.